

**This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

**Defective images within this document are accurate representation of
The original documents submitted by the applicant.**

Defects in the images may include (but are not limited to):

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09114514 A**(43) Date of publication of application: **02.05.97**

(51) Int. Cl. **G05B 19/4155**
B25J 13/00
G05B 13/02

(21) Application number: **07268422**(71) Applicant: **SONY CORP**(22) Date of filing: **17.10.95**

(72) Inventor: **FUJIKAWA TAKAYUKI**
FUJITA MASAHIRO

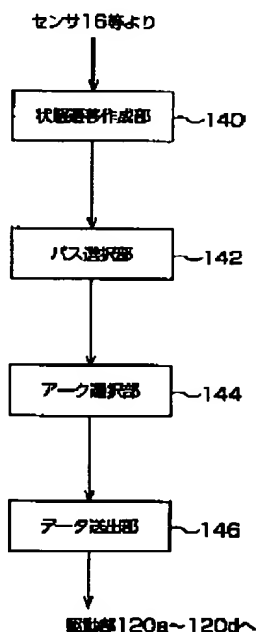
(54) METHOD AND DEVICE FOR ROBOT CONTROL

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To diversify the operation of a robot and to improve its expressing power.

SOLUTION: A state transition generation part 140 detects states that an operation path passes from the initial state of the robot to a target state and adds a coefficient W_{ij} to a plurality of operation arcs between those states. A path selection part 142 selects the operation arcs between the respective states so that the total of weight coefficients of the operation arcs included in the operation path becomes minimum. An arc selection part 144 selects operation arcs included in the operation path selected by a path selection part 142 probably according to the weight coefficients and determines a final operation path. A data transmission part 146 generates operation data required to actualize the operation of the robot that the operation arcs included in the final operation path with time, and controls a driving part to actualize the operation of the robot.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-114514

(43) 公開日 平成9年(1997)5月2日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 5 B	19/4155		G 0 5 B 19/403	X
B 2 5 J	13/00		B 2 5 J 13/00	Z
G 0 5 B	13/02		G 0 5 B 13/02	M
				E

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 8 頁)

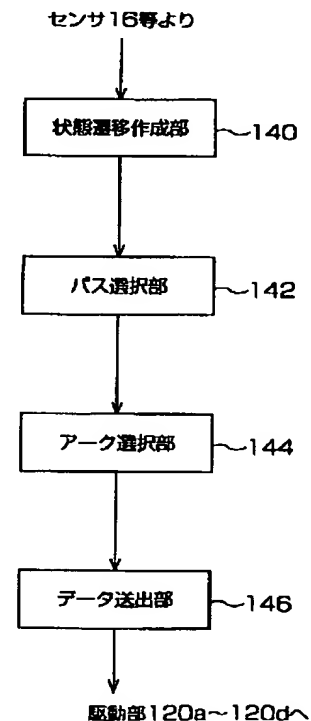
(21) 出願番号	特願平7-268422	(71) 出願人	000002185 ソニー株式会社 東京都品川区北品川6丁目7番35号
(22) 出願日	平成7年(1995)10月17日	(72) 発明者	藤川 孝之 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
		(72) 発明者	藤田 雅博 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 佐藤 隆久

(54) 【発明の名称】 ロボット制御方法およびその装置

(57) 【要約】

【課題】 ロボットの動作を多様化し、表現力を高める。

【解決手段】 状態遷移作成部140は、ロボット1の初期状態から目標状態に到るまでに動作パスが通過する状態を検出し、これらの状態間の複数の動作アークに重み係数 w_{ij} を付加する。パス選択部142は、動作パスに含まれる動作アークの重み係数の総和が最小になるように、各状態間それぞれの間の動作アークを選択する。アーク選択部144は、パス選択部142が選択した動作パスに含まれる動作アークを、重み係数に基づいて確率的に選択し、最終的な動作パスを決定する。データ送出部146は、最終的な動作パスに含まれる動作アークが示すロボット1の動作を実現するために必要な動作データを経時的に生成し、駆動部120a~120dを制御してロボット1の動作を実現する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所定の動作にそれぞれ対応する複数の状態の間を遷移するようにロボットの動作を制御するロボット制御方法であって、

前記複数の状態の内、直接に遷移可能な 2 つの状態の間それぞれにおいて、前記 2 つの状態の間を遷移する際の前記ロボットの動作を示す 1 つ以上の動作アークを定め、

定めた前記動作アークそれぞれに、前記動作アークが選択される確率に対応する重み係数を付し、

前記 2 つの状態の間で前記ロボットの動作を遷移させる際に、前記 2 つの状態の間の前記動作アークそれぞれの前記重み係数に基づいて、前記 2 つの状態の間の前記動作アークのいずれかを確率的に選択し、

前記 2 つの状態の間で前記ロボットの動作を遷移させる際に、選択した前記動作アークが示す動作を行わせるように前記ロボットを制御するロボット制御方法。

【請求項 2】 前記複数の状態の内、2 つ以上の状態の間で前記ロボットの動作を遷移させる際に、前記重み係数の総和が最小になるように前記 2 つ以上の状態の内、直接に遷移可能な 2 つの状態の間それぞれの前記動作アークを選択する請求項 1 に記載のロボット制御方法。

【請求項 3】 前記動作アークは、前記複数の状態の内の 1 つの状態から前記 1 つの状態に戻る際の前記ロボットの動作を示す自己動作アークを含む請求項 1 に記載のロボット制御方法。

【請求項 4】 所定の動作に対応する複数の状態を有するロボットの動作を制御するロボット制御装置であって、前記複数の状態の内、直接に遷移可能な任意の 2 つの状態の間それぞれにおいては、前記 2 つの状態の間を遷移する際の前記ロボットの動作を示す 1 つ以上の動作アークが定められ、

定めた前記動作アークそれぞれに、前記動作アークが選択される確率に対応する重み係数を付す重み付け手段と、

前記 2 つの状態の間で前記ロボットの動作を遷移させる際に、前記 2 つの状態の間の前記動作アークそれぞれの前記重み係数に基づいて、前記 2 つの状態の間の前記動作アークのいずれかを確率的に選択する動作アーク選択手段と、

選択した前記動作アークが示す前記ロボットの動作に対応する動作データを経時的に生成する動作データ生成手段と、

生成した前記動作データに基づいて、前記ロボットの動作を制御する制御手段とを有するロボット制御装置。

【請求項 5】 前記動作アークは、前記複数の状態の内の 1 つの状態から前記 1 つの状態に戻る際の前記ロボットの動作を示す自己動作アークを含み、

前記動作データ生成手段は、前記ロボットの状態遷移前と状態遷移後の前記状態とが一致する場合に、前記状態

遷移前および状態遷移後の前記自己動作アークに対応する前記動作データの生成を抑制する請求項 4 に記載のロボット制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、ロボットの民生用あるいは産業用の利用に関し、ロボットの行動パターンを制御するロボット行動制御方法およびその装置に関する。

10 【0002】

【発明が解決しようとする課題】 ロボットに行動を教示する場合、予め所望の行動パターンおよびその順番を全てプログラム化し、ロボットまたはロボットの制御装置に記憶させておく必要があった。行動がプログラムにより決められている場合、ロボットはプログラムに記述された行動パターンをそのまま継続的に保って動作する。従って、ロボットの行動を多様化することができず、ロボットを行動させて表現可能な事象に限りがあり、その表現力も充分とはいえなかった。

20 【0003】 最近、周囲で変化する動的環境に応じてロボットの行動を変更することができる行動制御方式として、障害物回避、徘徊などの基本行動を階層化して制御するサブサンプションアーキテクチャ (Subsumption Architecture) 方式が提案されている。この方式によれば、上位階層に属する行動が周囲の環境に適合せず、失敗に終わった場合に、ロボットに下位階層に属する行動をとることを常に誘発することができる。しかし、逆に、下位階層に属する行動が失敗した場合には、ロボットに上位階層に属する行動をとることを積極的に誘発する行動制御が困難である。

30 【0004】 また、サブサンプションアーキテクチャ方式によれば、行動パターンは階層的な行動の積み重ねにより与えられるが、各階層に含まれる行動パターンが固定化されるため、行動パターンの多様性に制約が生じてしまう。このように、サブサンプションアーキテクチャ方式においては、ロボットの行動パターンの単調化が避けられず、ロボットの動作が有する表現力も限られたものになってしまう。

40 【0005】 本発明は、上述した従来技術の問題点を鑑みてなされたものであり、ロボットの動作を多様化し、動作により表現可能な事象を増やし、しかも、ロボットの動作の表現力を高めることができるロボット行動制御方法およびその装置を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するために、本発明に係るロボット制御方法は、所定の動作にそれぞれ対応する複数の状態の間を遷移するようにロボットの動作を制御するロボット制御方法であって、前記複数の状態の内、直接に遷移可能な 2 つの状態の間それぞれにおいて、前記 2 つの状態の間を遷移する際の前記ロ

ボットの動作を示す1つ以上の動作アークを定め、定めた前記動作アークそれぞれに、前記動作アークが選択される確率に対応する重み係数を付し、前記2つの状態の間で前記ロボットの動作を遷移させる際に、前記2つの状態の間の前記動作アークそれぞれの前記重み係数に基づいて、前記2つの状態の間の前記動作アークのいずれかを確率的に選択し、前記2つの状態の間で前記ロボットの動作を遷移させる際に、選択した前記動作アークが示す動作を行わせるように前記ロボットを制御する。

【0007】好適には、前記複数の状態の内、2つ以上の状態の間で前記ロボットの動作を遷移させる際に、前記重み係数の総和が最小になるように前記2つ以上の状態の内、直接に遷移可能な2つの状態の間それぞれの前記動作アークを選択する。

【0008】好適には、前記動作アークは、前記複数の状態の内の1つの状態から前記1つの状態に戻る際の前記ロボットの動作を示す自己動作アークを含む。

【0009】また、本発明に係るロボット制御装置は、所定の動作に対応する複数の状態を有するロボットの動作を制御するロボット制御装置であって、前記複数の状態の内、直接に遷移可能な2つの状態の間それぞれにおいては、前記2つの状態の間を遷移する際の前記ロボットの動作を示す1つ以上の動作アークが定められ、定めた前記動作アークそれぞれに、前記動作アークが選択される確率に対応する重み係数を付す重み付け手段と、前記2つの状態の間で前記ロボットの動作を遷移させる際に、前記2つの状態の間の前記動作アークそれぞれの前記重み係数に基づいて、前記2つの状態の間の前記動作アークのいずれかを確率的に選択する動作アーク選択手段と、選択した前記動作アークが示す前記ロボットの動作に対応する動作データを経時的に生成する動作データ生成手段と、生成した前記動作データに基づいて、前記ロボットの動作を制御する制御手段とを有する。

【0010】好適には、前記動作アークは、前記複数の状態の内の1つの状態から前記1つの状態に戻る際の前記ロボットの動作を示す自己動作アークを含み、前記動作データ生成手段は、前記ロボットの状態遷移前と状態遷移後の前記状態とが一致する場合に、前記状態遷移前および状態遷移後の状態の前記自己動作アークに対応する前記動作データの生成を抑制する。

【0011】本発明に係るロボット制御方法およびその装置においては、ロボットの「歩く(Walking)」、「座る(Sitting)」および「立つ(Standing)」等の基本的な動作に対応する状態と、ロボットの動作が2つの状態の間で動作する際の動作を示す動作アーク、または、同一状態内で状態遷移する際の動作を示す自己動作アークと、これらの動作アーク等に付される重み係数とが定義される。

【0012】本発明に係るロボット制御方法およびその装置は、これらの状態の内、間に他の状態を介さずに直

接に遷移可能な2つの状態の間を遷移する際の動作を1つ以上定義し、これらの2つの状態の間を遷移する際の動作を確率的に選択してロボットの動作を制御することにより、ロボットの動作に変化を与え、ロボットの表現力を増大させている。

【0013】本発明に係るロボット制御装置において、動作アーク選択手段は、重み係数に基づいて、直接に遷移可能な2つの状態の間を遷移について選択可能な複数の動作アークの中から1つを確率的に選択する。また、動作アーク選択手段は、動作開始時の状態から動作終了時の状態に到るまでに2つ以上の状態を経る場合には、これらの状態の内の2つの状態間をつなぐ動作アークの重み係数の総和が最小になるように動作アークを選択する。

【0014】動作データ生成手段は、選択された動作アークそれぞれに対応し、動作アークが示すロボットの動きを実現する動作データを経時的に生成する。制御手段は、生成された動作データに基づいて、ロボットを駆動するモータの回転等を制御し、選択された動作アークそれぞれが示す動作をロボットに行わせて順次、状態遷移を実行し、ロボットの所定の行動を実現する。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例を説明する。図1は、本発明に係るロボット制御方法が適用されるロボット1の外形を例示する図であって、(A)はロボット1の正面図を示し、(B)はロボット1の上面図を示し、(C)はロボット1の側面図を示す。図1

(A)～(C)に例示するように、ロボット1は、本発明に係るロボット制御方法によりそれぞれ制御され、駆動される4本の脚10a～10dを有する。

【0016】ロボット1の「寝る(状態1;Sleeping)」、「座る(状態2;Sitting)」、「波打つ(状態3;Waving)」、「立つ(状態4;Standing)」および「歩く(状態5;Walking)」といった基本的な動作は「状態(図4等)」として定義される。また、ロボット1は、これらの状態の間を状態遷移する際には、予め定義され、それぞれ選択される確率に対応する重み係数が付され、この重み計数に基づいて確率的に選択され、これらの状態の間で状態遷移を行う際のロボット1の動作を規定する「動作アーク」に基づいた動作を行う。

【0017】図2は、図1に示したロボット1において本発明に係るロボット制御方法を実現するために用いられる制御部12の構成を示す図である。図2に示すように、ロボット1の制御部12は、制御回路14、駆動部120a～120dおよびセンサ16から構成される。

【0018】制御回路14は、マイクロプロセッサ、ROM、RAM、および、演算処理に必要な周辺回路から構成され、本発明に係るロボット制御方法を実現するためのプログラム(図3)を実行し、予め設定された状態

を定義するデータ、および、センサ16から入力されるセンサデータ等に基づいて、駆動部120a～120dに対して脚10a～10dの動きを示す動作データを供給する。

【0019】センサ16は、例えばロボット1の周囲の環境、例えば光の強度・色、温度、および、周囲にある壁や他のロボット1との距離を検出し、検出した周囲の環境に係るセンサデータを制御回路14に対して出力する。駆動部120a～120dは、それぞれモータおよびモータ駆動回路等から構成され、制御回路14から入力された動作データに基づいて脚10a～10dを前後・上下に動かす。つまり、制御回路14および駆動部120a～120dは協働して、各状態におけるロボット1の動作、および、状態遷移中のロボット動作を実現する。

【0020】図3は、本発明に係るロボット制御方法を実現するためのプログラム構成を示す図である。図3に示す状態遷移作成部140、パス選択部142、アーク選択部144およびデータ送出部146は、状態遷移作成部140のROMに記憶されており、制御回路14のマイクロプロセッサにより実行される。

【0021】状態遷移作成部140の動作

状態遷移作成部140は、ロボット1の動作開始時の状態（初期状態）から動作終了時の状態（目標状態）に到るまでに通過する状態を検出し、検出した状態と、状態の間を遷移する際の動作アークとに基づいて状態遷移図（図4等）を作成する。

【0022】まず、ロボット1に実現される状態を予め定義し、ロボット1の動作を直接、定義した各状態間で遷移させるために、各状態間を遷移する際のロボット1の動作を示す動作アークを、直接に遷移可能な2つの状態の間で1つ以上定義する。これらの、定義した動作アークそれぞれには、アーク選択部144により選択される確率に対応する重み係数を付する。

【0023】以上のように定義された状態と動作アークは状態遷移図に表すことができる。つまり、定義された2つの状態 S_i 、 S_j に対して、状態 S_i から状態 S_j にロボット1の動作を遷移させる動作アーク A_{ij} が定義される。動作アーク A_{ij} には、重み係数 w_{ij} が与えられる。最終的な動作パスに含まれる動作アーク A_{ij} は、N個の動作アーク A^k_{ij} （ $k=1, \dots, N$ ）から選択可能であり、動作アーク A^k_{ij} が選択される確率的重み P^k （ $k=1, \dots, N$ ）は、下式で表される。

【0024】

【数1】

$$1 = \sum_{k=1, \dots, N} P^k$$

【0025】図4に、ロボット1の状態、動作アークおよび重み係数の関係を示す状態遷移図の例を示す。例え

ば、図4に例示するように、ロボット1が脚10a～10dを縮めて底面を床につける状態1（スリーピング；Sleeping）から、ロボット1が脚10a、10bを縮め、脚10c、10dを伸ばして脚10c、10d側の底面だけを床につける状態2（シットイング；Sitting）に状態遷移する際の動作アークには重み計数 w_{12} が付されている。

【0026】また、状態1（スリーピング；Sleeping）から、ロボット1が脚10a～10dを伸ばして床に対して底面を平行に保つ状態4（スタンディング；Standing）に状態遷移する際の動作アークには重み計数 w_{14} が付されている。また、状態2から状態1に状態遷移する際の動作アークには重み係数 w_{21} が付されている。

【0027】状態1、2、4と、他の2状態（ロボット1が脚10a、10bと脚10c、10dとを交互に伸縮する状態3（ウェービング；Waving）、および、ロボット1が歩行する状態5（ウォーキング；Walking））との間にも同様に動作アークが定義され、それぞれ重み係数 w_{24} 、 w_{25} 、 \dots 、 w_{54} が付される。

【0028】また、図5に、図4において隣接する位置にあり、他の状態を介さずに直接状態遷移することができる2つの状態間に定義されたN個の動作アークの例を示す。図5に例示するように、状態1と状態2との間にはN本の動作アーク A_{12} が定義されており、これらN本の動作アーク A_{12} がアーク選択部144により選択される確率は、それぞれ確率的重み $P(1) \sim P(N)$ となる。

【0029】パス選択部142の動作

パス選択部142は、状態遷移作成部140が作成した状態遷移図に基づいて、動作パスに含まれる動作アークの重み係数の総和が最小になる動作アークの集合を、ロボット1が初期状態から目標状態に到るまでの間に経過する動作パスとして選択する。つまり、動作パスに含まれる直接に遷移可能な2つの隣接する状態の間には、1つ以上の動作アークが存在しうる。

【0030】パス選択部142は、図4に示した状態遷移図に基づいて、ロボット1を初期状態 S_0 から目標状態 S_G へ設定させるとき、最適な動作パスを選択する。動作パスは、初期状態 S_0 から出発して、状態から直接接続している動作アークを経由して目標状態 S_G へ到達可能な動作アーク列として定義される。この動作パスは、一般に複数、存在する。これらの動作パスから、下式に示す評価関数 W を最小にするいずれかを選択する。

【0031】

【数2】

$$W = \min_i W_i$$

【0032】

【数3】

$$W_i = \sum_{n=0}^{m_i-1} w_{n,i} + 1$$

【0033】ここで、上記2式において、Mは図4に示した状態遷移図の状態 S_i の総数を示す。また、 W_i は、初期状態 S_0 から目標状態 S_g へ到達可能なパス1を構成する動作アークの重み係数の和を示す。また、 m_i は、そのパスを構成する動作アーク $A_{i,j}$ 、($i, j = 1, 2, \dots, M, i \neq j$)の数を表す。

【0034】以下、パス1を選択する具体的な処理手段について説明する。まず、初期設定として、状態 S_i を管理する2つのリスト、閉リストおよび開リストを定義する。閉リストの初期集合は空集合である。開リストの初期集合として、下式のように全ての状態 S_i ($i = 1, \dots, M$)を与える。

【0035】

【数4】

*

$$\min_{S_i} D[i], \quad S_i \in \text{開リスト} \quad (0.1)$$

$$D[i] = \min_{S_i} \{D[i], D[p] + w(S_p, S_i)\}, \quad S_i \in \text{閉リスト} \quad (0.2)$$

【0042】ここで、式(0.1)を満足する状態 S_i を新しい接続状態 S_p として、接続状態 S_p を更新する。この新たな接続状態 S_p を開リスト集合から除き、閉リスト集合に加える。このとき、旧接続状態 S_p (OLD)は新接続状態 S_p (NEW)の親となり、ポインタで接続される。

【0043】

【数8】

$$S_p(OLD) \leftarrow S_p(NEW)$$

※

40

$$A_{0,i_1} \leftarrow A_{1,i_1} \leftarrow A_{1,i_2} \leftarrow A_{2,i_2} \leftarrow \dots \leftarrow A_{i_{m-1},i_{m-1}} \leftarrow A_{i_{m-1},g}$$

【0046】以上のように、初期状態 S_0 を除き、動作パスが経由する状態 S_i に対応する $A_{i,i}$ を必ず選択する。

【0047】図6は、パス選択部142の処理を示すフローチャートである。図6に示すように、パス選択部142は、初期設定として、開リスト集合 (OPEN) の要素 ★50

閉リスト = ϕ 閉リスト = $\{S_1, S_2, \dots, S_M\}$

* 【0036】また、下式のように、評価変数の初期値として各状態 S_i に対応した評価変数 $D[i]$ を定義する。

【0037】

【数5】

$$D[i] = \begin{cases} 0 & i=0, \text{ 初期状態} \\ \infty & \text{otherwise} \end{cases}$$

【0038】また、下式のように、初期状態 S_0 を初期接続状態 S_p とする。

【0039】

【数6】

$$S_p = S_0$$

【0040】次に、開リスト集合、閉リスト集合、評価変数、接続状態の更新を行う。下式中の式(0.1)、(0.2)を用いて、 $S_p = S_g$ となるまで、開リスト集合、閉リスト集合、評価変数、接続状態の更新を繰り返す。

【0041】

【数7】

※ 【0044】この新接続状態 S_p を介して、式(0.

2)より評価変数 $D[i]$ を更新する。さらに、閉リスト内に目標状態 S_g からポインタをたどって、初期状態 S_0 に到る状態列 $l = S_0, \dots, S_{i_1}, \dots, S_{i_2}, \dots, S_g$ が得られる。このとき、ロボットの初期状態 S_0 から目標状態 S_g までの動作パスは、閉リスト内のポインタを逆にたどることにより、下式のように求められる。

【0045】

【数9】

★を全状態とし、閉リスト集合 (CLOSED) を空とする (S_1)。また、初期接続状態を S_0 とする (S_2)。

【0048】目標状態と接続状態が一致するならば、目標状態にすでに到達したことになるので、状態探索を終了する (S_3)。閉リスト集合内で目標状態から初期状態へポインタをたどり、逆向きに初期状態から目標状

態へソーティングし直す (S7)。以上の各処理により、状態間を結ぶ動作アーク列が生成され、パス選択部 142 の実行が終了する。

【0049】もし、目標状態と接続状態が一致しなければ、開リスト集合の中で、評価変数を最小にする状態を新しい接続状態 S_c とし、開リスト集合内に加える (S4)。開リスト内の評価変数を新しい接続状態 S_c を用いて更新する (S5)。さらに、接続状態 S_c を開リスト内から閉リスト内に加え、S3 の処理に戻る (S6)。なお、S3 の条件が満たされるまで、S4～S6 の処理が繰り返される。

【0050】アーク選択部 144 の動作

アーク選択部 144 は、パス選択部 142 が選択した動作パスに含まれる動作アークのいずれかを、動作アークそれぞれに付された重み係数に基づいて確率的に選択する。つまり、アーク選択部 144 は、動作パスに含まれ、直接に遷移可能な 2 つの状態の間それぞれに存在する 1 つ以上の動作アークのいずれかをそれぞれ選択し、最終的な動作パスを決定する。

【0051】アーク選択部 144 は、パス選択部 142 * 20

$$A_{0,i_1}^k \rightarrow A_{i_1,i_1}^k \rightarrow A_{i_1,i_2}^k \rightarrow A_{i_2,i_2}^k \rightarrow \dots \rightarrow A_{i_{m-1},i_{m-1}}^k \rightarrow A_{i_{m-1},G}^k$$

【0055】データ送出部 146 の動作

データ送出部 146 は、アーク選択部 144 が決定した動作パスに含まれる動作アークそれぞれが示すロボット 1 の動作を実現するために駆動部 120a～120d に与えるべき動作データを経時的に生成し、駆動部 120a～120d に供給する。

【0056】アーク選択部 144 の動作説明において示したように、ロボット 1 の初期状態 S_0 から目標状態 S ※30

$$A_{0,i_1}^k \rightarrow A_{i_1,i_1}^k \rightarrow A_{i_1,i_2}^k \rightarrow A_{i_2,i_2}^k \rightarrow \dots \rightarrow A_{i_{m-1},i_{m-1}}^k \rightarrow A_{i_{m-1},G}^k \rightarrow A_{G,G}^k$$

【0058】図 7 は、図 4 に示した状態遷移図に重み係数を付し、状態 3 を初期状態とし、状態 4 を目標状態とした状態遷移図である。図 8 は、図 7 に示した状態遷移図に基づいて、状態遷移作成部 140、パス選択部 142、アーク選択部 144 およびデータ送出部 146 により決定される動作アーク列を示す図である。

【0059】図 7 および図 8 に示すように、データ送出部 146 は、この動作アーク列が示す動作をロボット 1 にさせるために駆動部 120a～120d それぞれに与えるべき経時的な動作データを生成し、駆動部 120a～120d それぞれに対して供給する。ただし、初期状態 S_0 と目標状態 S_c が一致した場合、動作アーク列 $A_{i_{m-1},G}^k$ が生成されるが、このとき動作アーク列 $A_{i_{m-1},G}^k$ に対応する動作データは駆動部 120a～120d に対して供給されない。この場合、特に状態が変わらず、無駄な処理を省くことができる。

【0060】以下、ロボット 1 の動作を説明する。制御部 12 の状態遷移作成部 140 は、ロボット 1 の初期状態 ★50

* が選択した動作パスに対して、動作パス中の動作アーク A_{ij} それぞれが複数個ずつ含む動作アーク A_{ij}^k の中から、一つの動作アークを確率的に選択する。この選択の処理手順は、まず、数値 $[R_0, R_1]$ の範囲で一様な乱数を考え、動作アーク A_{ij}^k に対応する領域 $[s_r, e_r]$ を下式のように定義する。

【0052】

【数 10】

$$[(R_1 - R_0) \sum_{i=0}^{k-1} P^i, (R_1 - R_0) \sum_{i=0}^k P^i]$$

【0053】ここで、上式において、 P^i は、確率係数を示し、 $P^0 = 0$ である。一様乱数の値 v が、 $s_r \leq v < e_r$ の範囲にある場合において、一様乱数の値 v に対応する動作アーク A_{ij}^k を選択する。この選択により、ロボットの初期状態 S_0 から目標状態 S_c までの動作パスは、選択された動作アーク A_{ij}^k を用いて下式のように定義される。

【0054】

【数 11】

※。までの動作アーク A_{ij}^k 列が出力される。データ送出部 146 は、目標状態 S_c から目標状態 S_c への動作アーク $A_{G,G}^k$ を、アーク選択部 144 による動作アーク選択と同様の手続きで選択し、動作アーク列 (0, 3) の最後に追加する。従って、データ送出部 146 により最終的に以下の動作アーク列が生成される。

【0057】

【数 12】

★ 態から目標状態に到るまでに通過する状態を検出し、検出した状態と、状態の間を遷移する際の動作アークとに基づいて、例えば図 4 に示した状態遷移図を作成し、動作アークそれぞれに、式 1 に示した確率的重み P^i にそれぞれ対応する重み係数 w_{ij} を付加する。

【0061】パス選択部 142 は、動作パスに含まれる動作アークの重み係数の総和が最小になる動作アークの集合を、式 2～式 9 および図 6 に示した手順に従って、ロボット 1 が初期状態から目標状態に到るまでの間に経過する動作パスとして選択する。

【0062】アーク選択部 144 は、パス選択部 142 が選択した動作パスに含まれる動作アークのいずれかを、式 10 および式 11 に示した手順に従って、動作アークそれぞれに付された重み係数に基づいて確率的に選択し、最終的な動作パスを決定する。

【0063】データ送出部 146 は、アーク選択部 144 が決定した動作パスに含まれる動作アークそれぞれが示すロボット 1 の動作を実現するために駆動部 120a

～120dに与えるべき動作データを経時的に生成し、駆動部120a～120dに供給する。

【0064】駆動部120a～120dは、データ送出部146から供給された動作データに従って脚10a～10dを駆動し、初期状態から目標状態に到るまでの各状態の動作、および、最終的な動作パスに含まれる各動作アークが示すロボット1の動作を実現する。

【0065】以上説明したように、本発明のロボット行動制御装置によれば、予め定義された各状態におけるロボット1の動作、および、各状態間それぞれにおいて1つ以上定義された動作アークが示す状態遷移中のロボット1の動作に基づいて、ロボット1に複数の動作パターンを与えることができる。また、初期状態から目標状態と同じにして複数回、ロボット1を動作させても、新たな初期状態から目標状態に到る動作を行うたびに、アーク選択部144により異なる動作アークを含む動作パスが最終的に決定されるので、ロボット1の動作が多様化し、その表現力がより向上する。

【0066】なお、以上の説明においては、制御部12がロボット1について予め固定的に設定された状態、動作アークおよび重み係数に基づいて動作パスを決定する場合について説明したが、例えば、センサ16から入力されるセンサデータに基づいて、選択可能な動作アークを制限する、あるいは、重み係数の値を動的に変更する等の変形を施すことにより、周囲の環境に応じてロボット1の動作パターンを変更することが可能になる。また、制御部12の各プログラムの動作内容は例示であって、ロボット1の用途に応じて必要な部分のみを抽出して用いて、本発明に係るロボット制御方法を実現してもよい。

【0067】

【発明の効果】以上述べたように、本発明に係るロボット制御方法およびその装置によれば、ロボットの動作を多様化することができる。また、本発明に係るロボット *

* 制御方法およびその装置によれば、ロボットの動作により表現可能な事象の数を増すことができる。また、本発明に係るロボット制御方法によれば、ロボットの動作の表現力を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るロボット制御方法が適用されるロボットの外形を例示する図であって、(A)はロボットの正面図を示し、(B)はロボットの上面図を示し、(C)はロボットの側面図を示す。

10 【図2】図1に示したロボットにおいて本発明に係るロボット制御方法を実現するために用いられる制御部の構成を示す図である。

【図3】本発明に係るロボット制御方法を実現するためのプログラム構成を示す図である。

【図4】図1に示したロボットの状態、動作アークおよび重み係数の関係を例示する状態遷移図を示す図である。

20 【図5】図4において隣接する位置にあり、他の状態を介さずに直接状態遷移することができる2つの状態間に定義されたN個の動作アークの例を示す図である。

【図6】図3に示したパス選択部の処理を示すフローチャートである。

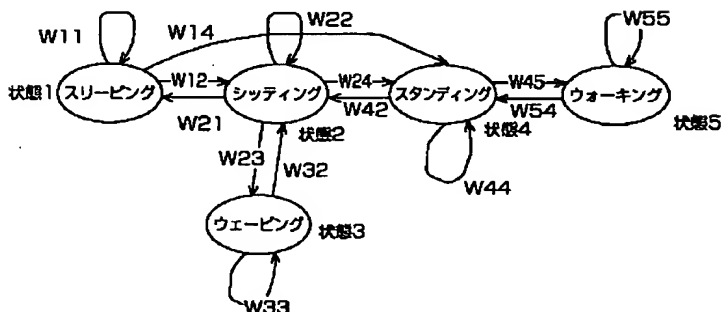
【図7】図4に示した状態遷移図に重み係数を付し、状態3を初期状態とし、状態4を目標状態とした状態遷移図である。

30 【図8】図7に示した状態遷移図に基づいて、図3に示した状態遷移作成部、パス選択部、アーク選択部およびデータ送出部により決定される動作アーク列を示す図である。

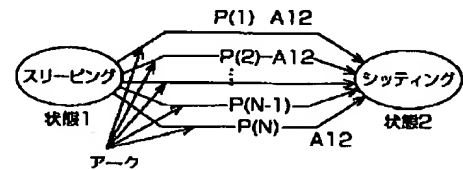
【符号の説明】

1…ロボット、10a～10d…脚、12…制御部、120a～120d…駆動部、14…制御回路、140…状態遷移作成部、142…パス選択部、144…アーク選択部、146…データ送出部、16…センサ

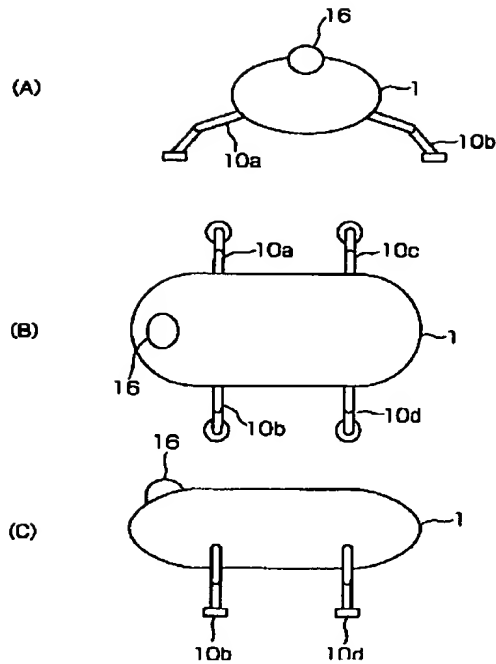
【図4】



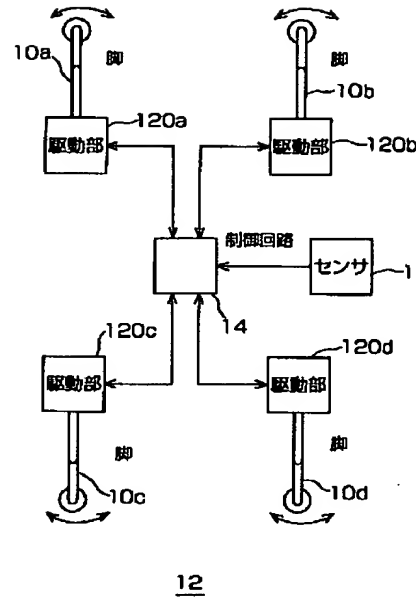
【図5】



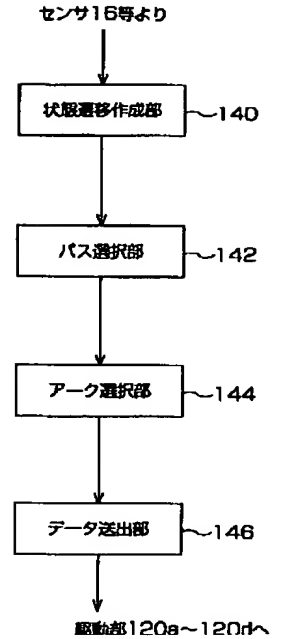
【図 1】



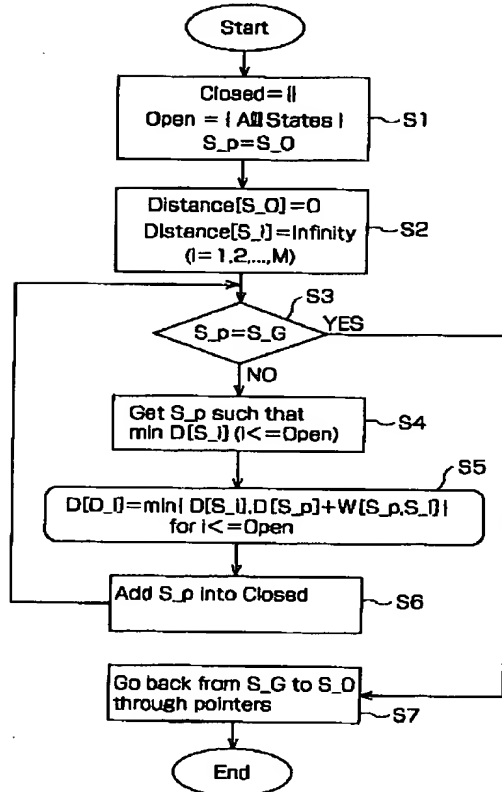
【図 2】



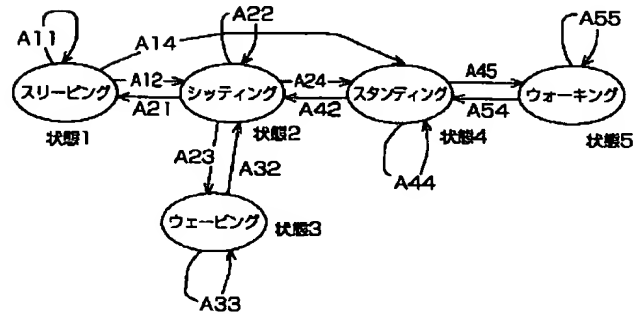
【図 3】



【図 6】



【図 7】



【図 8】

